1 / 土壤健康管理

謝廷芳、黃振文

臺灣自光復以來，農友普遍採行集約式栽培農作物，偏用化學肥料，忽略有機質的補充，導致超過 60% 的耕地土壤偏酸，鹽分累積，作物根部病害逐年遽增，許多作物更發生連作障礙問題，致使農作物生產力急速下降。為維繫農作物的生產潛能，防止農田的生態平衡繼續惡化，必須設法降低農田的酸化、鹽分累積、毒傷及沖刷等問題，並且經常補充作物生長所需的各種營養與有機質，以維持土壤健康。本文所謂的土壤健康管理，乃是由植物病理學的角度切入，聚焦於利用抑病土壤添加物調理土壤，改善由植物病原引起的土壤連作障礙問題，期能部分解決生病土壤，回復土壤固有的生產力。

健康土壤的定義

健康土壤的定義：健康土壤能維持多樣化的土壤生物族群生態，這些生物族群有助於緩解植物病害、蟲害及雜草的危害，並與植物根部形成有益的共生關係，促進植物基本養分循環與吸收；土壤有機質經由微生物的分解提供植物生長所需之養分，增加土壤保水能力和改善土壤團粒結構，最終提高作物之產能。健康土壤具有兩大顯著特性，一是擁有豐富多樣性的生物族群，二是土壤有機質含量高。對於農作物生產而

言，若土壤有機質能增加或維持在一定的含量，代表其具有足夠的生物多樣性，則可充分判定土壤是健康的，而健康的土壤能避免土壤傳播性病害的發生，此結果在大多數有機農場中得到驗證。再確切地講，健康的土壤環境條件可以提供作物根系生長所需，其中包括適合的 EC 值 (電導度 0.6 以下)、適當的土壤 pH 值 (介於 5.5−7.5)，有機質含量維持在 3 以上，並具備均衡足量的養分與水分供給能力，缺一不可。

連作障礙土壤的排除

相較於健康土壤的特性，連作障礙 (soil sickness 或 sick soil) 意為生病的土壤，是指在一塊土地上連續種植某種作物一段時間後，即使在正常管理的情況下，亦出現作物生長與發育不良、品質與產量下降的現象稱之。週年多期次栽培同一種作物，或連作頻繁，多年後土壤即出現連作障礙，如鹽分累積、地力下降，土傳傳播性病害及根瘤線蟲發生嚴重，致使產量及品質日益下降，嚴重田區甚至無法繼續種植。

一、連作障礙的成因

(一) 養分失衡

植物需要營養元素以完成其生活史，仰賴空氣中的二氧化碳及土壤中的水與礦物元素以合成大部份的有機物質。每種作物有其特別的營養需求，在同一塊土壤上採行單一種作物之生產模式，而且每期作均大量採收農產品，同時移走土壤中大量相似比例的養分，被移走營養元素之比例與投入之肥料元素比例並不相同，最終導致土壤養分不平衡之現象。長期採行旱作式的連作，易加速土壤有機質含量減少，若不加以適當補充，易導致土壤理化及生物性不足的現象，均不利作物的生長。

(二) 鹽分累積

設施內的高溫環境會導致作物生育期縮短，使一年內作物之複作次數提高，經常的耕犁操作及高溫環境下均促使土壤中的有機質分解迅速。為加速作物生長而超量施用肥料，致使土壤中累積多量的營養元素或鹽基，在蒸發快速的高溫環境下，溶於水中之鹽分隨著毛細現象，蓄積在表層土壤，使土壤出現連作障礙問題。

(三) 植物自毒或相剋作用 (allelopathy)

相剋或自毒作用意指在植物代謝過程中釋放的有毒物質會抑制本身或鄰近植物之種子發芽、根的生長、植株發育及開花結果。有毒物質包含植物鹼、香豆素、單寧、類黃素、類脂醇、松烯類、氰醇類、酚類及其衍生物等。釋放方式可分為揮發作用、淋溶作用、根泌作用、植物殘體分解作用等。連作時前一期作物的根分泌有毒物質，或殘體分解時釋出的毒性物質，在土壤中達到臨界濃度後，將引起下一期作物的毒害作用。

(四) 土壤物理結構遭破壞

設施內土壤缺乏雨水淋洗，長時期施行旱作，有機質補充不夠，有益微生物族群量降低，土壤團粒結構因高頻率耕耘時機械重壓而破壞。農民為克服土壤傳播性病原菌的危害，利用化學燻蒸劑處理土壤，同一區土壤經多次化學藥劑燻蒸後，亦會導致土壤團粒結構破壞。

(五) 病原菌及線蟲族群的增加

連作土壤提供土傳性病原菌或病原線蟲良好的寄主和繁殖場所，易造成大量累積。過量使用化學肥料及農藥，降低土壤中拮抗菌的數量，使微生物族群趨於單一化。大多數土壤傳播性病原菌在缺乏寄主的條件下亦會在寄主殘體或土壤中形成特殊的存活構造，一旦種植寄主植物時

即可再次活化病原體而侵入感染。許多連作障礙的因素都起因於土壤病原菌或病原線蟲族群的逐年增加，例如百合黃葉病及洋桔梗根瘤線蟲的問題等。

二、連作障礙的排除

(一) 直接進行土壤改良

可藉由淋洗和灌溉洗鹽法、換土法及高溫消毒法解決。

(二) 間接式土壤改良

可以合理化施肥、生物防治法、使用土壤改良劑或土壤添加物進行改良，促進植物養分吸收，改善植物生長環境及抑制土壤病原微生物之為害。

(三) 栽培管理法

施行輪作或休耕制度、增強作物抗病性、採行無土栽培技術及非化學合成藥劑處理，以管理健康的土壤。

導入抑病土壤的概念恢復土壤健康

自二十世紀初葉，Sanford 氏報導以綠肥添加物防治馬鈴薯瘡痂病 (*Streptomyces scabies* (Thaxt.) Waks & Henrici)，給予從事土壤傳播性病害的防治研究者一個啟示：「適當的經營與管理土壤，可有效控制土壤的環境，並抑制作物根部病害的發生。」隨後，許多植物病理學者爭相研究利用作物殘渣、樹皮、堆肥、污泥、綠肥及大豆粉等添加物，以防治土壤傳播性病害。據此，國內研究學者積極致力於利用農、漁、牧與工業廢棄物之研究，已開發的系列產品計有 S-H、SF-21，AR3-2、CH 100、SSC-06、CF-5、FBN-5A、THC-23 及 LT-M 等 9 種抑病土壤添加物或其

衍生產品，藉以增強農作物的生育與減少病害的發生。

一、抑病土壤的特性

Knudson 於 1922 年在瓜地馬拉研究香蕉黃葉病，首先探討鐮孢菌 (Fusarium) 抑病土的問題，其後世界各地植物病理學者投注諸多心力在抑病土的研究。Baker 及 Cook 將抑病土定義為：

1. 病原菌不能在土壤中建立族群。
2. 病原菌可建立族群，但不能致病。
3. 病原菌建立族群，初期可致病，但不能進一步感染。

1980 年代本文第二作者在彰化縣溪湖鎮陳耀南先生的農田也曾發現西瓜蔓割病及蘿蔔黃葉病的抑病土，在這種抑病土中加入西瓜蔓割病菌或蘿蔔黃葉病菌 $1-5 \times 10^3$ propagules/g soil 時，無法使西瓜或蘿蔔發病；即使菌量增至 10^5 propagules/g soil 時，發病率亦僅 14.2%。隨後，針對該抑病土進行系列的分析研究，發現抑病土中除蘊含相當豐富的微生物相外，尚擁有高量的有效磷、鈣及有機質等成分。這種奇妙的自然抑病現象，啟發研究人員嘗試開發土壤添加物改善土壤，讓生病的土壤逐漸變成可抑制病害發生的抑病土。

二、土壤添加物回復土壤健康的原理

一般而言，有些土壤添加物(例如 S-H 土壤添加物)可以防治病害的功效，乃在於其組成份中的氮肥經硝化作用後，產生有毒的氣體，直接殺滅病原菌為主；此外，以其組成分中的有機質提供土壤微生物之營養源，大量誘發有益微生物增殖，或分解基質產生有毒物質以降低病原菌之族群數量，並強化作物對病原菌之抗性為輔。

(一) 有機質與無機化合物的特性

依有機質的碳氮比可將資材略分為二類：(1) 含高量碳源之木屑、

穀殼、稻草、蔗渣及花生殼等，可增加土壤之物理性；(2) 含高量氮源之雞糞、豬糞、牛糞、米糠、豆粕、魚粉、血粉及骨粉等，可提供微生物作用之需。有機物在土壤添加物中的角色以增加土壤物理結構及促進微生物增殖為主。致於無機化合物中之氮、磷、鉀、鈣肥則是植物生長的必要元素。其中氮肥可促進植物的生長，但過量使用氮肥會使植物組織結構鬆散，易遭受病原菌的為害；然而，有些氮肥如尿素在分解過程中，會產生氨氣，具有毒殺病原菌的作用。磷肥在生物代謝過程中的地位非常重要，尤其對促進作物根部生長之效果明顯。鈣肥除可增加作物對病原菌的抗病性外，並可降低病原菌的為害。選擇無機化合物時，應考慮各種元素所扮演的角色，適度調整其在添加物中之比例。

(二) 對標的植物及根圈病原菌生長的影響

土壤添加物中含有氮、磷、鉀、鈣肥料成分。其中氮肥可改變寄主抗病性及病原菌的致病性，並間接促進土壤微生物的作用，因而降低病害的發生。氮的型態可影響病原菌在土壤中的存活、發芽及生長，尤其是氨 (ammonia) 具殺菌能力，常被用來防治病害。鉀可直接抑制病原侵入作物，並可阻止病原菌在作物組織內繁殖、蔓延及棲息等作用。一般而言，施用腐熟的有機質對植物生長有利，但是在調製組合土壤添加物時，不能只取經腐熟的資材，因其抑菌能力有限。在篩選有機質對病原菌生長的影響時，應一併考慮其抑菌特性及增加土壤微生物族群數量等方面的效果，才能準確地選出所需的有機質。

(三) 對土壤理化及生物性的影響

對大部分土壤病原菌而言，土壤 pH 值可左右其活性，土壤 pH 值高於 7.0，則多數鐮胞病菌、立枯絲核菌等植物病原菌之活力會顯著降低；此外，若土壤中含有有機態氮時，高土壤 pH 值可加速脫氨作用的產生，將氮肥分解進而釋出氨氣，直接殺滅存於土壤中之病原菌，達到病害防

治之效果。另外，土壤中施用硝酸態氮後，可促進土壤中拮抗菌族群的增加，進而抑制多種病害的發生。

三、抑病土壤添加物的種類與成分

利用農業廢棄物研製而成的主要抑病土壤添加物產品的配方與組成分如下：

1. **S-H 混合物：**係由農業及工業副產物，再加三種肥料混合而成，其組成分包含甘蔗渣 4.40%、稻殼 8.40%、蚵殼粉 4.25%、尿素 8.25%、硝酸鉀 1.04%、過磷酸鈣 13.16%及礦灰 (矽酸爐渣) 60.5%。將甘蔗渣、稻殼，蚵粉、礦灰磨成細粉，再加入尿素、過磷酸鈣及硝酸鉀均勻混合，即是 S-H 混合物。矽酸爐渣為中國鋼鐵公司之廢棄副產品，其成分為二氧化矽 31%、氧化鈣 44%、氧化鎂 1.7%、氧化鋁 1%與氧化鐵 1%。
2. **SF-21 混合物：**係由松樹皮 750 公斤，硫酸銨 35 公斤，過磷酸鈣 10 公斤，氯化鈣 30 公斤，氯化鉀 25 公斤，硫酸鋁 150 公斤與 10% 甘油 750 公升等組合而成。
3. **AR3-2 系列混合物：**係由牛糞堆肥、米糠、蝦蟹殼粉、尿素、過磷酸鈣和礦灰為主，依據各類作物之施肥推薦量調製而成，用於防治各種作物白絹病。
4. **CH 100 植物健素：**係由 44 公斤甘藍下位葉殘體，10 公斤菸葉渣，5 公斤氯化鈣，1 公斤牛肉煎汁與 30 公斤 S-H 混合物均勻混合後，徐徐放入含有 200 公升 Hoagland 水溶液的塑膠容器中，在常溫 (25−30℃) 下，經過發酵作用後，取濾液加入 0.5% (V/V) 的 95% 酒精均勻混合後，即合成植物健素，稱之為「中興一百 (CH 100)」。
5. **SSC-06 混合物：**係由腐熟香菇太空包堆肥、炭化稻殼、蝦蟹殼粉及血粉調製而成。

6. **CF-5 添加劑：**係由香菇太空包堆肥、魚粉、氧化鈣及丙烯醇等配製而成。
7. **FBN-5A 生物增長素：**係由香菇太空包廢棄基質、魚粉、骨粉、血粉、菜籽粕、硝酸氨與丙烯醇組合而成。
8. **TH-23 微生物堆肥：**係由滅過菌之金針菇堆肥接種 *Trichoderma harzianum* T23 調製而成。
9. **LT-M 有機添加物：**係由 40% 蝦蟹殼粉、5% 糖蜜、40% 篦麻粕、10% 海草粉、5% 黃豆粉組合而成。

四、土壤添加物產品的應用

1980 年，中興大學孫守恭教授與本文第二作者首先成功的發展出一種合成土壤添加物，命名為 S-H 混合物。S-H 混合物在中興大學研究室與溫室證明效果穩定後，隨即於臺灣各地從事田間試驗，結果顯示其對十字花科蔬菜如蘿蔔黃葉病 (圖 1)，青江白菜、芥菜根瘤病，西瓜蔓割病，扁蒲嫁接西瓜的苗期猝倒病 (圖 2)，芹菜黃葉病，菜豆立枯病，甜椒白絹病與薑軟腐病等作物根部病害具有防治和增產的效果，同時尚可促進草莓、小白菜、甘藍菜及菊花的生長。此外，S-H 混合物亦被曾應用於防治碗豆萎凋病，胡瓜猝倒病與疫病及番茄青枯病等，效果均相當顯著。

1987 至 1990 年間，本文第二作者赴美進修時，也開發成功另一種合成土壤添加物，名曰 SF-21 混合物。在濕地松的苗床施用 SF-21 後，發現它可同時防治 *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitz、*Rhizoctonia solani* Kuhn (AG-4) 及 *Fusarium moniliforme* Sheld var. *subglutinans* Wollenw & Reink 三者所引起的松苗猝倒病。此外，SF-21 混合物亦可保護苗床經溴化甲烷燻蒸過後的微生物真空化，進而扼止 *Pythium* spp. 再污染所構成的威脅。

圖 1. SH 土壤添加物防治蘿蔔黃葉病 (左邊未處理對照區，右邊為處理區)。

圖 2. SH 土壤添加物防治由鐮孢菌與腐霉菌引起的西瓜猝倒病 (圖左為對照組，圖右為處理組)。

1992 至 1995 年間，農委會農業試驗所經過不斷的評估試驗，採用有機質與肥料三要素合成 AR3-2 系列土壤添加物，用於防治作物白絹病 (圖 3)，印證土壤添加物防治土壤傳播性病害的可行性。

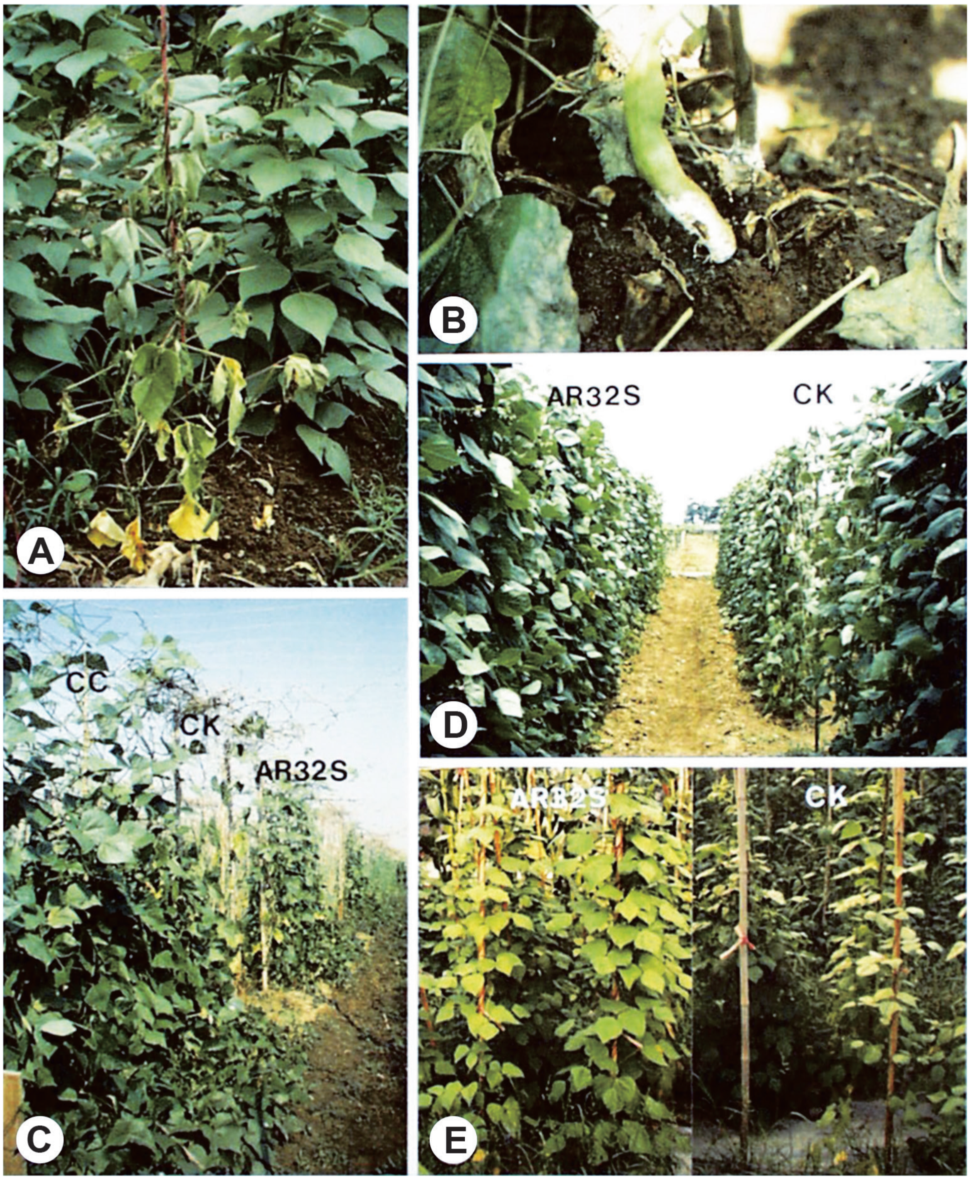

圖 3. 土壤添加物 AR3-2S 防治菜豆白絹病的效果。菜豆罹白絹病 (A)；豆莢遭受為害狀 (B)；田間小區域試驗 (C)；田間大面積試驗 (D)；菜豆罹病後再補植亦可得防治效果 (E)。

土壤有機添加物雖然可以促進作物的生長與減少作物根部之病害，但其效果常受限於土壤之質地與使用之方法，同時它的搬運輸送過程頗為粗重，因此在 1990 年，第二作者嘗試利用 S-H 混合物與農作物殘體均勻拌合於水溶液中發酵，開發出可以強壯蔬菜種苗及防治病害的液態「植物健素」(商品名：中興一百，簡稱 CH 100)」。在培養基中加入 CH 100 後，測試其抑菌效果，發現 CH 100 稀釋 100 倍後，可顯著的抑制瓜類蔓枯病菌 (*Didymella bryoniae*)，番石榴瘡痂病菌 (*Pestalotipsis psidii*) 及果實黑黴軟腐病菌 (*Rhizopus stolonifer*) 的菌絲生長；並可抑制韭菜銹病菌 (*Puccinia allii*) 及菜豆銹病菌 (*Uromyces vignae*) 的夏孢子發芽。在混有植物病原細菌 (10^6 cfu /mL) 的雙層 nutrient agar 中，浸過 CH 100 原液的濾紙圓盤可部分抑制 *Ralstonia solanacearum*、*Xanthomonas campestris* pv. *campestris* 的生長。在網室中，CH 100 (稀釋 300 倍) 可促進甜椒、甘藍、番茄、與胡瓜等蔬菜幼苗的生長與發育。在溫室與田間，它具有防治韭菜銹病 (圖 4)、胡瓜白粉病 (*Erysiphe cichoracearum*) 及馬鈴薯軟腐病 (*Pectobacterium carotovora* subsp. *carotovora*) 發生的效果。

圖 4. CH 100 植物健素防治韭菜銹病 (左圖為未處理區，右圖為處理對照區)。

此外，SSC-06 混合物具有抑制甘藍立枯病 (*R. solani* AG-4 引起) 及抑制 *Pythium aphanidermatum* 為害番茄與甜椒幼苗的功效。CF-5 添加劑不但可以紓解草脫淨、拉草及丁基拉草等除草劑毒傷豌豆根系的效果外，尚可有效減輕碗豆立枯病 (*R. solani* AG-4 引起) 的發生率。FBN-5A 生物增長素具有防治甘藍立枯病 (*R. solani* AG-4 引起) (圖 5)、蔬菜菌核病 (*Sclerotinia sclerotiorum* 引起) 或降低蘿蔔黃葉病 (*F. oxysporum* f. sp. *raphani* 引起) 及萵苣萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *Lactucum* 引起) 的發生率；另外，1% FBN-5A 尚可完全抑制田間雜草如馬齒莧、龍葵、鱧腸、尖瓣花等種子的發芽。THC-23 微生物堆肥可快速有效減輕拉草除草劑對豌豆根系的毒害。

而 LT-M 有機添加物應用於防治葡萄根瘤線蟲、柑桔類根瘤線蟲、柑桔線蟲及螺旋線蟲與西瓜根瘤線蟲等，效果相當顯著。使用量為每分地 100−200 公斤均勻施於土壤中或以每株 10−12 公斤施於果樹類植株之莖基部周圍。防治金香葡萄根瘤線蟲病時，在夏、冬兩果期之根瘤指數

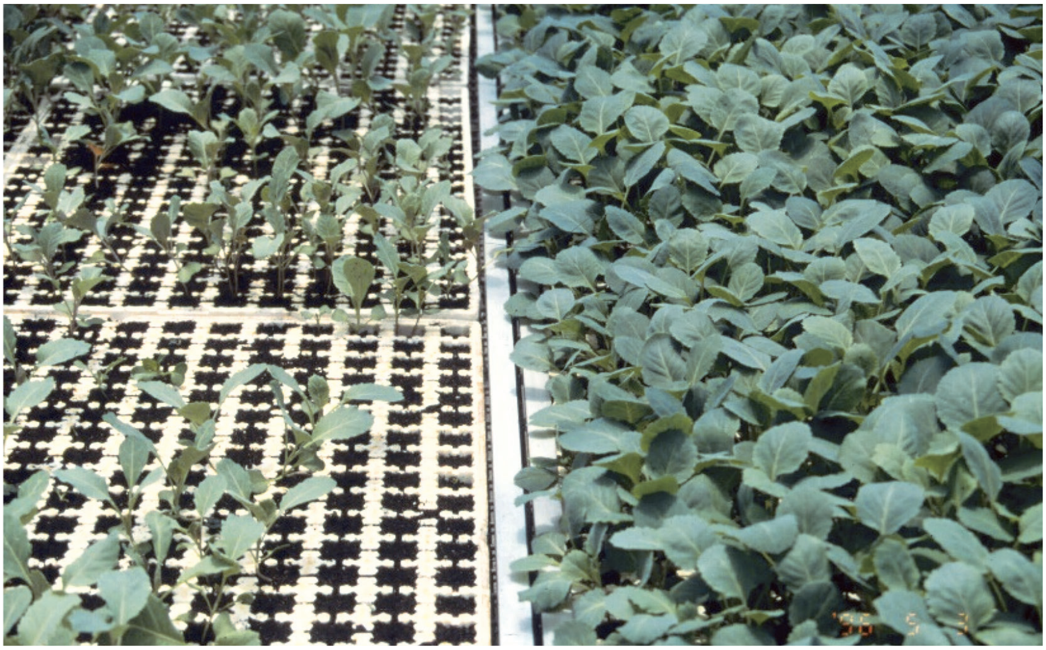

圖 5. FBN5A 防治甘藍立枯病 (左邊為未處理區，右邊為對照處理區)。

及罹病指數比對照組分別降低 47.5、67.8% 和 42.8、69.5%。施用後對金香葡萄結果枝長度、果穗重及甜度上均獲得最佳效果。尤其在冬果期，果穗重及甜度較施用 3% 加保扶粒劑處理者平均高出 49 公克及 2.1 度。產量方面，每公頃施用 2,000 公斤 LT-M 處理者，在夏、冬兩果期較對照者之平均果穗重，分別高出 57 及 76 公克；品質上，甜度分別高出 3.0 度及 5.0 度。LT-M 添加物加入土壤中可誘發放線菌族群大量增殖，分泌幾丁質分解酵素，瓦解線蟲體壁以達到殺滅線蟲的目的。

結語

健康土壤管理的首重於培育適合作物生長的土壤條件，符合健康土壤條件後，作物的根系伸展獲得最大的生長量，根系獲得充分的土壤養分供應，植物自然生長強健，可抵抗周遭的生物與非生物逆境。土壤健康管理亦應納入設施栽培下很難避免的土壤連作障礙問題。造成連作障礙的原因多種，但不外乎土壤物理、化學及生物性遭受破壞。欲解決連作障礙問題，必先明瞭其成因，再據以提出解決方案。良好的土壤管理方式與策略，將可免除或減少連作障礙的發生。此外，針對連作障礙的問題，導入抑病土壤添加物的綜合防病原理與概念，亦是另一項保有健康土壤的解方，即土壤添加物具有：

1. 無機鹽類可直接抑制病原菌，並可中和土壤酸鹼度，提高土壤 pH 值。
2. 增加土壤中有益微生物的族群密度，進而抑制或瓦解病原菌。
3. 含豐富的營養及多種微量元素，具有補充作物生長所需，增加作物根系的發育，增強作物抗病力等特性，符合維繫土壤健康的理化及微生物等方面的需求。

參考文獻

1. 杜金池、謝廷芳、蔡武雄。1992。利用合成土壤添加物防治百合白絹病之研究。中華農業研究 41: 280−294。
2. 林益昇、羅朝村。1987。土壤添加物防治豌豆萎凋及根腐病之研究。中華農業研究 36: 435−444。
3. 周俊吉。1989。S-H 混合物在土壤中抑制番茄青枯病菌存活之機制研究。國立中興大學植病所碩士論文。
4. 孫守恭。1989。土壤添加物在病害防治上之應用。有機農業研討會專集 141-155 頁。台中區農改場出版。
5. 孫守恭、黃振文。1983。土壤添加物防治西瓜蔓割病之研究。植保會刊 25: 127−137。
6. 孫守恭、黃振文。1985。土壤添加物防治鐮胞菌萎凋病之機制。植保會刊 27: 159−169。
7. 張明郎。1987。土壤添加物防治番茄青枯病之研究。國立中興大學植病所碩士論文。
8. 黃振文。1992。利用合成植物營養液管理蔬菜種苗病蟲害。植保會刊 34: 54−63。
9. 黃振文。1993。開發有機添加劑防治作物病害的系列研究。永續農業研討會專集第 227−237 頁。台中區農改場出版。
10. 黃振文、孫守恭。1984。西瓜蔓割病的抑病土與導病土。植保會刊 26: 305−313。
11. 黃振文、孫守恭、謝廷芳。1989。利用抑病土之特性作西瓜蔓割病綜合防治之研究。植保會刊 31: 104−118。
12. 黃振文、陳美杏、楊尚勳。1992。合成植物營養液對防治韭菜銹病的連鎖效應。植保會刊 34: 257−265。
13. 楊慶鴻、謝文瑞。1985。土壤添加物對十字花科根瘤病之防治效果。植保會刊 27: 225−231。
14. 謝廷芳、杜金池。1995。影響土壤添加物 AR 3 防治百合白絹病之因子。中華農業研究 44: 456−463。
15. 謝廷芳、郭章信、王貴美。1999。利用土壤添加物 AR3-2S 防治菜豆白絹病。植病會刊 8: 125−132。